

Ralph Stelzer · Karl-Heinrich Grote · Klaus Brökel  
Frank Rieg · Jörg Feldhusen (Hrsg.)

# **ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN**

Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung



**10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik  
KT2012 | Residenzschloss Dresden | 14.–15. Juni 2012**



Stelzer · Grote · Brökel · Rieg · Feldhusen (Hrsg.)

## **ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN**

Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung

10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik KT2012



Ralph Stelzer · Karl-Heinrich Grote · Klaus Brökel  
Frank Rieg · Jörg Feldhusen (Hrsg.)

# **ENTWERFEN ENTWICKELN ERLEBEN**

Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung

Entwickeln – Entwerfen – Erleben.  
Methoden und Werkzeuge in der Produktentwicklung  
10. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik (KT2012)

Herausgeber:

Prof. Dr. Ralph Stelzer (Technische Universität Dresden)  
Prof. Dr. Karl-Heinrich Grote (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg)  
Prof. Dr. Klaus Brökel (Universität Rostock)  
Prof. Dr. Frank Rieg (Universität Bayreuth)  
Prof. Dr. Jörg Feldhusen (RWTH Aachen)

Wir bedanken uns für die Unterstützung bei  
ma design, Tedata, Continental, xPLM, B.I.M. Consulting und Reiss Büromöbel

**ma design**  
//ENGINEERING

**Continental** 

**B.I.M.**  
consulting

**TEDATA**

**xPLM**  
Solution

**REISS**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind  
im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek  
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche  
Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the  
Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

ISBN 987-3-942710-80-0

© 2012 TUDpress  
Verlag der Wissenschaften GmbH  
Bergstr. 70 | D-01069 Dresden  
Tel.: 0351/47 96 97 20 | Fax: 0351/47 96 08 19  
<http://www.tudpress.de>

Alle Rechte vorbehalten. All rights reserved.  
Layout und Satz: Sandra Olbrich/Technische Universität Dresden.  
Umschlaggestaltung: TU Dresden, Illustration Audi A6 Limousine © 2012 Audi AG

# Design Process Management

## 1 Einleitung

Arbeitsabläufe werden in der Regel durch eine jahrzehntelange Praxis geprägt. Eine Vielzahl von individuellen Gewohnheiten und Aspekten bildet oft eine hermetische Abgrenzung gegenüber allen Versuchen, organisatorische Veränderungen herbeizuführen. Dies gilt in besonderem Maße für die Konstruktion. Die unvoreingenommene Betrachtung heutiger Konstruktionsabläufe lässt uns feststellen, dass der Arbeitsprozess an sich seit Anbeginn vor vielen tausend Jahren fast unverändert geblieben ist. Abgesehen von einer Reihe mehr oder weniger voneinander isolierter Computer-Aided Software-Tools, die den Konstrukteur bei der Modellierung, Simulation und Datenspeicherung unterstützen, bekommt er keine weiteren Hilfestellungen. Eine Ausnahme bilden hier automatisierte Verfahrensketten, die auf der Basis fest definierter Produktmodelle in parametrisierten Verfahren Fertigungsunterlagen automatisch erstellen können. Prozessorientiert sind auch neuere Benutzeroberflächen zur Kopplung von Simulationsanwendungen. Hiermit können Anwendungen über mehrere Softwareapplikationen hinweg geschaffen werden (ModelCenter, modeFrontier). Das Wissensmanagement hingegen ist so gut wie gar nicht in die Abläufe integriert, lässt man die Fülle der FreigabeprozEDUREN einmal außen vor. Während die Produktion durch Mechanisierung und Automatisierung zu einem großen Teil fließend organisiert ist, und aufgrund der damit gegebenen Transparenz neue Technologien jederzeit integrieren kann, hat die Produktentwicklung das volle Potenzial virtuel-

ler Workflows bei weitem noch nicht erkannt und ausgenutzt. Seit die ersten Personalcomputer in den frühen achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts gebaut wurden, ist die Methodik der Konstruktion durch die Einführung von Computer Aided Design stark beeinflusst worden. Bald folgten Softwareprodukte zur Analyse und numerischen Simulation, die dazu beitrugen, Funktionalität und Geometrie von Komponenten und Systemen zu optimieren und zu überprüfen. Daneben wurde besonderes Augenmerk auf die Verwaltung von Dokumenten und Produktdaten gelegt, so dass heute die Konstruktionsabteilungen einen direkten Zugriff auf fast alle Daten und Dokumente ihres Unternehmens besitzen. In den nächsten Jahren erwarten wir, dass eine der größten Lücken in der Kette der technischen Informationen geschlossen werden soll: das Fehlen von elektronisch verfügbaren Daten und Informationen aus externen Quellen von Herstellern, Normungsgremien und Universitäten. Heutzutage ist dieses Wissen überwiegend noch auf Printmedien beschränkt. Die Umwandlung in digitale Formate wird diese Medienlücke schließen und einen kräftigen Vorschub für das Wissensmanagement bewirken. Da alle Ressourcen und Werkzeuge in der IT-Produktentwicklung früher oder später in automatisierte Prozesse eingebunden werden müssen, werden die Hersteller dieser Hilfsmittel ihre Integration in automatisierte Abläufe nicht aufhalten können. Dies gilt auch für eine neue Business-Prozess-Methodik in der Konstruktion, mit der neben dem Grundlagen-, dem Normen- und dem Produktwissen nun auch die Vorgehensweisen in der Konstruktion transparent und überprüfbar gestaltet werden können. Unter diesen Bedingungen der modernen Informationstechnologien wird sich die projektorientierte Konstruktion allmählich zu einer prozessorientierten Konstruktion wandeln.

## **2 Business Process Management als Vorbild**

Produktentwicklung als die intellektuelle Bearbeitung eines virtuellen Modells durch ein Team unterschiedlicher Fachleute gleicht in seiner prinzipiellen Vorgehensweise jahrtausendealter Handwerkskunst, die einen Rohling mit den unterschiedlichsten Werkzeugen ganz allmählich in ein wohlgeformtes und funktionelles Erzeugnis verwandelt. Der Unterschied besteht allein darin, dass die benutz-



ten Werkzeuge von unterschiedlicher Natur und Funktionalität sind. Maßband, Feile, Hammer und Meißel einerseits und CAD, Taschenrechner und rechnergestützte Informationsspeicher auf der anderen Seite. Als Ergebnis sehen wir in beiden Fällen Unikate. In dem einen Fall ein virtuelles Computermodell und zahlreiche Zeichnungen und Dokumente, in dem anderen Fall einen Gegenstand aus Holz, Metall oder Stein und daneben einige Skizzen und Beschreibungen. In jedem Fall entsteht die geometrische Repräsentation einer technischen Vision plus einer Anzahl von Dokumenten.

Diese offensichtliche Analogie zwischen der mechanischen Konstruktion und bewährtem Handwerk mag verdeutlichen, dass die Herangehensweise an technische Aufgaben grundsätzlich immer dieselbe geblieben ist. Zwar hat sich der Erfahrungshorizont erweitert, die Hilfsmittel und Berechnungsalgorithmen wurden immer weiter verbessert und man hat bestimmte Routineabläufe auf Rechner übertragen. Das eigentliche Moment konstruktiver Tätigkeit aber blieb handwerklich und intuitiv, andererseits aber auch weder transparent noch nachvollziehbar. Damit waren und sind diese Vorgänge natürlich auch nicht reproduzierbar. Jedes Konstruktionsergebnis kommt vielmehr auf einzigartige Weise zustande und alle Versuche, die Prozesse effizienter zu gestalten, gehen bei dieser intuitiv-individuellen Vorgehensweise ins Leere.

Man hat neben der Einführung der Informationstechnik auch weitere Anstrengungen unternommen, die Produktivität in der Konstruktion zu erhöhen, diese betrafen jedoch in erster Linie die Kreativität und Systematik der Ingenieurstätigkeit. Bis heute sind deshalb hunderte von Katalogen mit Strategien und Lösungen für Konstruktionsaufgaben entstanden, die sich in ihrer Gesamtheit zu einer Zierde vieler Institutsbibliotheken entwickelt haben. Die kreativitätsfördernde Wirkung dieser konstruktionssystematischen Ansätze auf die täglichen Arbeitsergebnisse blieb dagegen ebenso überschaubar wie ihr Einfluss auf die Konstruktionsproduktivität und wird wohl erst dann einsetzen, wenn man sich ihre Erkenntnisse in Werkzeugen nutzbar macht, mit denen die Formen und Funktionen von Komponenten und ihren Beziehungen zueinander auch unabhängig von konkreter Geometrie definiert werden können.

Wer sich die Aufgabe stellt, Arbeitsabläufe in der Produktentwicklung zu beschleunigen, muss zuvor eine Kommunikations- und Tätigkeitsanalyse vornehmen. Nur sie kann uns Hinweise auf mögliche Rationalisierungspotentiale geben. Und in der Tat zeigen die Untersuchungen, dass trotz umfassenden Rechnereinsatzes immer noch ca. fünfzig Prozent der Aktivitäten eines Konstrukteurs mit Kommunikations- und Handlingsaufgaben verbracht werden. Sie könnten ebenso von digital arbeitenden Assistenten erfüllt werden. Und diese Erkenntnis führt uns direkt zu einer Methode, dem Business Process Management (BPM), die bereits in vielen Unternehmensbereichen angewendet wird, um Kommunikationsaufgaben, Wiederholttätigkeiten, Datentransfers zwischen Programmen und die Formularbearbeitung im Rahmen automatisierter Prozesse auf ein Minimum zu reduzieren.

Mit Hilfe der Business Process Modelling Notation (BPMN) werden Geschäftsprozesse unterteilt in Ereignisse, Aktivitäten, Entscheidungspunkte, Verbindungsobjekte, Datenobjekte (Artefakte) und Projektteilnehmer (Swimlanes). Sie können sequentiell oder parallel ablaufen und menschliche Aktivitäten ebenso wie IT-Prozesse beinhalten. Eine der wichtigsten Funktionen von BPM ist neben der Analyse und Strukturierung von Prozessen ihre Umsetzung in rechnerunterstützte Abläufe und die Erstellung von Benutzersystemen. Ziel ist die nahtlose Kombination von manuellen und intellektuellen Tätigkeiten mit IT-Anwendungen und Kommunikationsaufgaben sowohl am Arbeitsplatz wie zwischen Abteilungen, Teams und Einzelpersonen in verteilten Entwicklungsprojekten.

Business Process Management ist ein relativ neuer Ansatz im Geschäfts- und Prozess-Reengineering, das erst mit der Einführung der objektorientierten Modellierung in der Software-Programmierung Fahrt aufnahm. Die einmal interaktiv modellierte Workflow-Logik kann in lauffähige Programme umgewandelt werden. Diese wiederum verlinken die Benutzeroberflächen mit den Mail-Systemen, Datenbanken, Anwendungen, Informationsquellen, Event-Handlern und der Projektleitung. Die Verlinkung erfolgt über eine flexible Kommunikationsinfrastruktur. Traditionelle Verfahren, Arbeitsmethoden und Gewohnheiten können mit dieser Technologie in einer sehr flexiblen Umgebung verbunden werden.

### 3 Design Process Management in der praktischen Anwendung

In der technischen Produktentwicklung wird heute eine Vielzahl konstruktionsunterstützender Werkzeuge eingesetzt, denn für die Auslegung und Gestaltung von Maschinen gibt es für fast alle Problemstellungen spezialisierte Berechnungs- oder Simulationsprogramme. Die Struktur sowie die Geometrie eines neuen Produktes werden bei mechanischen und mechatronischen Produkten schließlich in einem dreidimensionalen CAD-Modell abgebildet. Davon abgeleitet werden Listen für die Planung und Fertigungsdokumente für die Herstellung und Montage. Als Wissensbasis und Integrationsdrehscheibe für Daten dienen Systeme für das Produktdaten-Management.

Zwischen erster Inaugenscheinnahme der Aufgabenstellung und Fertigstellung eines Entwicklungsergebnisses können viele Monate liegen, Dutzende von Konstrukteuren mitgearbeitet haben, tausende von Entscheidungen getroffen und ebenso viele Berechnungen durchgeführt worden sein. Zwar liegen am Ende die Ergebnisse vor, wie sie zustande gekommen sind, bleibt den nachfolgenden Abteilungen dagegen meistens verborgen. Gründe liegen einerseits im Regelwerk, dessen Unverbindlichkeit regelmäßig zu nicht dokumentierter Kreativität führt, andererseits aber auch in detailreichen Untersuchungen, deren Nachvollziehbarkeit schon allein durch die Fülle der Einzelaktivitäten unmöglich ist.

Hierzu zählen insbesondere auch die Maschinenelementeberechnungen (MEB). Sie repräsentieren nicht nur einen wichtigen Teilprozess in der Konstruktion, sondern können selbst wiederum aus vielen Teilprozessen und Schritten zusammengesetzt sein. So besteht die Berechnung eines Antriebsstranges fast immer aus mehreren Berechnungsmodulen (Getriebeberechnung, Wellenberechnung, Kupplungsberechnung usw.), welche häufig unabhängig voneinander angewendet werden, einander aber unter Umständen beeinflussen. In einem Getriebe z. B. werden die an einem Zahnrad angreifenden Kräfte an ein zweites Zahnrad und von diesem über eine Welle-Nabe-Verbindung an eine Welle übertragen, anschließend auf ein oder mehrere Wälzlager und schließlich auf das umgebende Gehäuse. In dieser Kette von Berechnungen stellt sich immer wieder das Problem der Konsistenz der Teilberechnungen, wenn man

an einer Stelle im Prozess Anpassungen vornimmt. Sofort müssen die Auswirkungen in allen anderen Teilberechnungen überprüft werden. Der dabei auftretende Iterationsbedarf kann beträchtlich sein und man programmiert deshalb regelmäßig problembezogene Verfahrensketten, die den Optimierungsprozess automatisieren helfen.

Diese Vorgehensweise stößt immer dann an Grenzen, wenn neben großen Serien immer mehr Form- und Funktionsvarianten entwickelt werden müssen. Starre Programme, die zudem mit alten Technologien entwickelt wurden, erweisen sich dann als unflexibel und können oft auch nicht mehr umprogrammiert werden. Dies gilt im Übrigen nicht nur für Getriebe, sondern für alle Baugruppen, in denen mehrere Komponenten in ihrem Zusammenwirken analysiert werden müssen. Wie die Erstellung von Berechnungs-Baugruppen mit Hilfe des Design Process Management flexibilisiert und auch dem Konstrukteur ohne Programmiererfahrung ermöglicht werden kann, soll am Beispiel der Auslegung eines Antriebsstrangs demonstriert werden. Gleichzeitig bringt die Methode die folgenden Vorzüge mit sich:

- Nachvollziehbarkeit aller Einzelaktivitäten,
- Vollständige Dokumentation der Abläufe und Ergebnisse,
- Definierte Daten- und Kommunikationsflüsse,
- Zwang zur tätigkeitsbezogenen Aufbereitung von Informationen und Wissen

#### **4 Beispiele der praktischen Anwendung**

Bei der Auslegung eines Antriebsstranges besteht die Aufgabe darin, einen optimalen Motor im Hinblick auf die Energieeffizienz, den Bauraum und den Wirkungsgrad für einen vorhandenen Antriebsstrang zu finden (siehe Abbildung 1).

Wie oben beschrieben, müssen die Berechnungsroutinen zunächst in kleinere, handhabbare Bausteine zerlegt werden. Dafür braucht man allerdings eine Datenarchitektur, welche ein Zusammenspiel mehrerer Akteure (Berechnungsmodule) zulässt. Weiterhin müssen Gruppierungen mehrerer Bausteine möglich sein. Gruppierungen

sollen dazu dienen, Maschinenelemente mit Hilfe einzelner Grundbausteine abbilden zu können. Dies kann die Modellierung eines komplexen Systems deutlich vereinfachen und beschleunigen, da der Konstrukteur nicht jedes Mal die häufig verwendenden Maschinenelementeberechnungen von Anfang an selber zusammenstellen muss. Diese werden einmal in einer Berechnungs-Bibliothek abgelegt und stehen dann jederzeit zur Verfügung.

Die Grundstruktur einer Berechnungsroutine kann von der Definition eines Prozesses abgeleitet werden (siehe Abbildung 2). Genauso wie ein Prozess besitzt eine Maschinenelemente-Berechnung bestimmte Eingabe- und Ausgabeparameter sowie Ressourcen und Informationen (siehe Abbildung 3).

Nun kann man den komplexen Berechnungsablauf einer Aufgabe »Motor für den Antriebsstrang auslegen« folgendermaßen aus Teilaufgaben und Aktivitäten zusammensetzen. Die Teilaufgaben wurden in die mechanischen und elektrischen unterteilt. So ergibt sich für die mechanische Seite des Antriebsstranges folgendes Gebilde: In Abbildung 5 wird gezeigt, wie die Trägheiten von den Strangkomponenten zu einem Gesamtträgheitsmoment, welches an Motorwelle anliegt, zusammengefasst werden. Die Berechnung

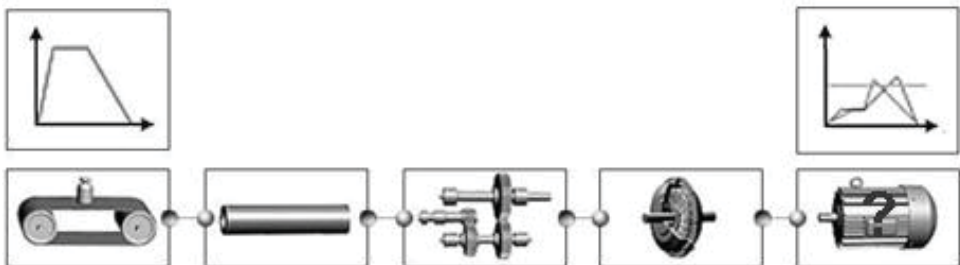


Abbildung 1: Flexibler Konstruktionsprozess eines Antriebstranges mit MDESIGN drive.

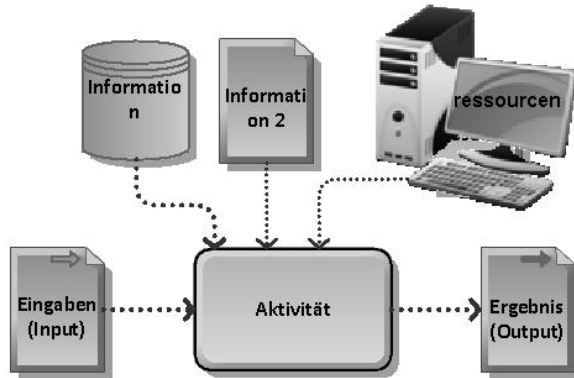


Abbildung 2: Definition eines Prozesses.

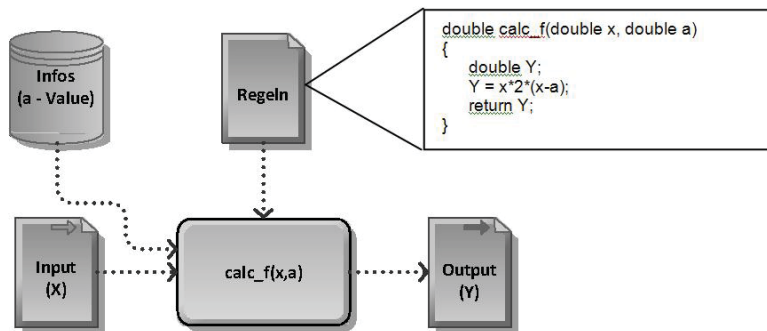


Abbildung 3: Definition einer Berechnung.

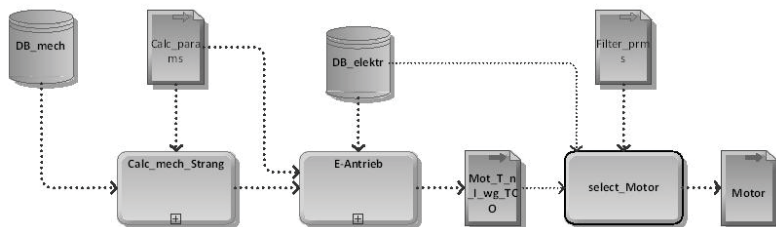


Abbildung 4: Aufgabe „Motor für den Antriebsstrang auslegen“

der elektrischen Seite des Antriebes ist in diesem Fall ein wenig komplexer. Hier sind neben den sequentiellen Datenflüssen noch die Rückkopplungen zu finden (siehe Abbildung 6).

Ein Konstruktionsprozess, der sich mit der Auslegung eines Maschinenelementes befasst, weist in der Regel viele Rückkopplungen auf, welche in Form von Schleifen bzw. Zyklen abgebildet werden. Dies passiert deshalb, weil bei einer Auslegung die Randbedingungen meistens vorhanden und die Ziele bekannt sind, die Eingabeparameter aber erst noch bestimmt werden müssen. Viele dieser Konstruktionsaufgaben werden deshalb iterativ gelöst. Dabei stellt sich sofort die Frage nach der Reihenfolge der Abarbeitung? Abbildung 6 zeigt nur die Datenflüsse. Um die richtige Reihenfolge zu bestimmen, müssen aber die Abhängigkeiten der Prozesse untereinander bekannt sein. Diese Abhängigkeiten werden bei Strukturen ohne Rückwirkungen automatisch mit Hilfe von Design Struktur Matrizen ermittelt (siehe Abbildung 7).

Die Design Struktur Matrix (DSM) ist eine Methode zur Erfassung, Modellierung, Analyse und Synthese (in gewissen Grenzen) der Vernetzung von Elementen in hochvernetzten Systemen. Typische Beispiele für solche Systeme sind komplexe, hochintegrierte Produktarchitekturen, Aufbauorganisationen oder Prozesse. Die Design Struktur Matrix erlaubt es, bei solchen Systemen Elemente derselben Art miteinander in Bezug zu setzen, wenn sie über eine vergleichbare Beziehungsart untereinander verbunden sind.

Als Modellierungsgrundlage wird eine quadratische Matrix verwendet, die auf der Hoch- und Querachse die einzelnen Elemente des Systems abbildet, und von der jede einzelne Zelle dazu genutzt werden kann, die Beziehung zwischen jeweils zwei Elementen abzubilden. Dabei kann eine solche DSM als »Zeile hat Einfluss auf Spalte« modelliert werden oder als »Spalte beeinflusst Zeile«. während sich die erste Modellierungsart eher im europäischen Sprachraum etabliert hat, findet letztere besonders in Nordamerika und Asien Anwendung. Dabei hat keine der beiden Methoden einen funktionellen Vorteil gegenüber der anderen.

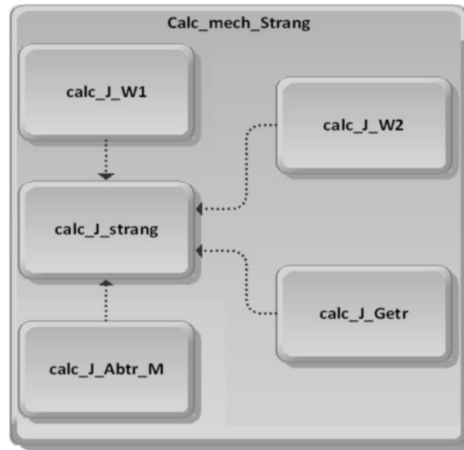


Abbildung 5: Mechanische Seite des Antriebsstranges

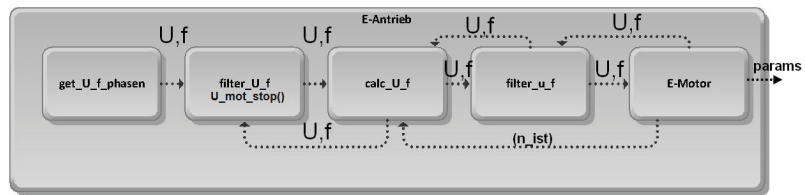


Abbildung 6: Elektrische Seite des Antriebsstranges

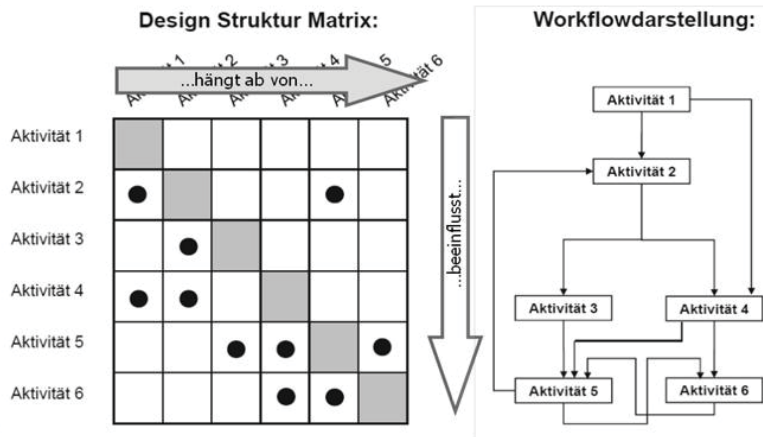


Abbildung 7: Design Struktur Matrix (Gärtner 2008)



Da, die Modellierungsgrundlage nur eine Verwendung von Elementen gleicher Art (Aufgaben oder Teilaufgaben, keine Mischung) vorsieht, wird für jede Aufgabe eine eigene Matrix erstellt, wobei die Teilaufgaben die Rolle der Elemente übernehmen (siehe Abbildung 8).

Die Ursprungsmatrix soll zunächst in eine Dreiecksmatrix überführt werden. Falls dies möglich ist, ergibt sich sofort die Reihenfolge für den Berechnungsablauf. Aus Abbildung 8 (rechts) folgt: Reihenfolge: calc\_J\_W1, calc\_J\_W2, calc\_J\_Getr, calc\_J\_Abtr\_M, calc\_J\_Strang. Analog werden die Design Struktur Matrizen für alle anderen Teilaufgaben sowie für die Hauptaufgabe erstellt und optimiert, wobei die Elemente jetzt die Teilaufgaben bzw. die Aktivitäten sind.

Für den Fall, dass sich eine Matrix nicht in eine Dreiecksmatrix überführen lässt, weil sie eine Wechselwirkung von Elementen beinhaltet (z. B.: Zyklus), werden Werkzeuge aus der Graphentheorie, wie zum Beispiel die »Breiten-, Tiefen-, oder Zyklussuche« oder die »Suche nach zusammenhängenden Komponenten« verwendet, um die berechenbaren Komponenten und die entsprechende Reihenfolge herauszufiltern, für welche dann die Design Struktur Matrizen erstellt und optimiert werden. Zur Veranschaulichung ist auf den nachfolgenden Bildern (siehe Abbildung 10, 11) ein Auszug aus dem vereinfachten Getriebestufen-Modell (siehe Abbildung 9) mit den zusammenhängenden Komponenten am Beispiel der Aufgabe »Getriebe auslegen« schematisch dargestellt. Die Änderung des Zahnrades (zum Beispiel des Schrägungswinkels) ruft die Änderung der Lagerkräfte hervor, damit der Lagergröße und evtl. des Typs, welches wiederum einen Einfluss auf die Geometrie der Welle hat. Aus Abbildung 11 wird ersichtlich, dass die Datenflüsse der Aufgaben Lager, Zahnrad und Welle eine zyklische Abhängigkeit besitzen. Sie werden deshalb zu einer Komponente gruppiert. Sobald sich alle zyklischen Abhängigkeiten nur innerhalb einer übergeordneten Aufgabe befinden, werden die Komponenten nacheinander abgearbeitet. Für die Auflösung einer zyklischen Abfolge von Aktivitäten bzw. Teilaufgaben kann zum Beispiel mit Hilfe von bedingten Datenflüssen realisiert werden. Die bedingten Datenflüsse werden nur unter bestimmten Voraussetzungen ausgeführt.

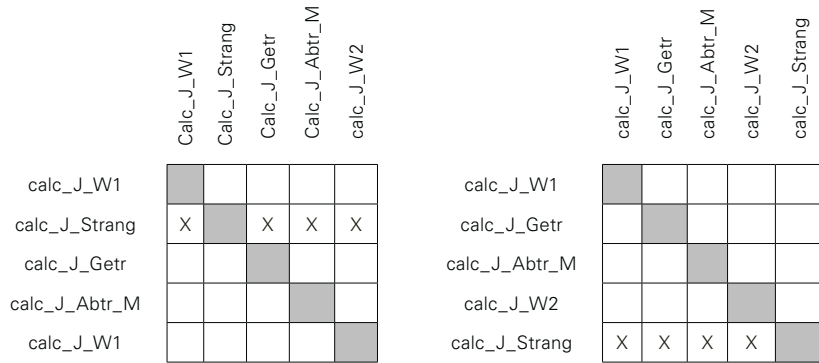


Abbildung 8: Ausgangsmatrix(links) und modifizierte Matrix(rechts).

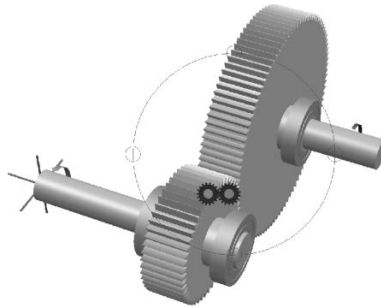


Abbildung 9: Stirnradgetriebestufe (erstellt mit MDESIGN gearbox).

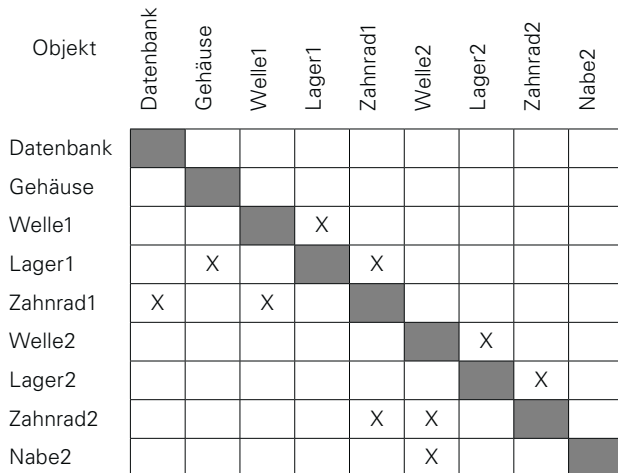


Abbildung 10: Beispiel einer Abfolge mit Zyklen.

Im vorher beschriebenen Fall der Antriebsstrangauslegung werden die Rückflüsse bei der Berechnung der elektrischen Seite des Stranges mit Hilfe von bedingten Datenflüssen realisiert (siehe Abbildung 12), d.h. dass zum Beispiel die Datenübergabe vom E-Motor zum Umrichter (filter\_U\_f) nur bei negativer Spannung erfolgen kann. Nachdem alle Aufgaben inkl. Teilaufgaben abgearbeitet sind, werden die Ergebnisse und Eingabeparameter aus denen auf der Eingabe- bzw. Ausgabeseite zusammengefasst (siehe Abbildung 13).

Somit erhält ein Konstrukteur ein interaktives Modellierungswerkzeug für die Gestaltung von elektromechanischen Antrieben, was ihn in die Lage versetzt, auch sehr komplexe Aufgaben zeitsparend, qualitativ und kreativ lösen zu können.

## 5 Fazit und Ausblick

Bislang ist die Verbreitung von Business-Process-Management in der Produktentwicklung sowie in den Konstruktionsabteilungen gering. Hier dominieren, abgesehen von prozessorientierten Funktionen im Product Lifecycle Management eher Anwendungen des Projektmanagements. Allerdings hat die Automobilindustrie damit begonnen, BPM-Methoden von der Verwaltung in die technischen Abteilungen zu portieren. Zusätzliche Dynamik wird die prozessorientierte Dynamik aber auch in der mittelständischen Industrie erhalten. Denn die auch hier zunehmende Verbreitung strukturierter Produkt-Modelle als Mittelpunkt der Konstruktion und der Teamarbeit lässt mit ihren definierten Entwicklungszielen eine konsequente und stringente Planung auch der dazwischen liegenden Teilschritte zu. Das erlaubt die Standardisierung und Modularisierung einer Vielzahl von Teilprozessen. Jede von ihnen kann schließlich zum Gegenstand eines automatisierten Workflows werden. Die Einführung dieser neuen Technologie in Konstruktion und Produktentwicklung hat das Potential, die folgenden Verbesserungen zu bewirken:

- Nachvollziehbarkeit individueller Tätigkeiten sowie der Zusammenarbeit
- Vollständige Dokumentation der Abläufe und Ergebnisse

- Definierte Daten-, Dokumenten- und Kommunikationsflüsse
- Aufgabenbezogene Bereitstellung von Informationen und Wissen
- Basis für kontinuierliche Verbesserungsstrategien
- Schnellere Integration von internen und externen Teammitgliedern
- Schnellere Aufnahme neuer Aktivitäten, Verfahren und Ressourcen
- Grundlage für ein besseres Zeitmanagement
- Qualitatives und quantitatives Monitoring für Projekt- und Qualitätsmanagement

Durch ein an BPM-Methoden angelehntes Design Process Management können viele der heute noch individuell geprägte Verfahren, Tätigkeiten und Prozesse rechnerunterstützt im Sinne verbindlicher Konstruktionsrichtlinien ablaufen. Voraussetzung ist allerdings, dass die Tätigkeiten in der Konstruktion nach genauer Analyse in allgemeingültige Arbeitsschritte zerlegt werden und analog zur Fertigung und Montage zu einem Katalog von Arbeits- und Kommunikationsaktivitäten führen, der die von Menschen und IT-Systemen in der Produktentwicklung ausgeführten Aktivitäten festhält und in klar definierten Workflows festhält.

Der vorliegende Beitrag stellt Untersuchungen darüber vor, welche Randbedingungen man bei der Anwendung dieser Methode auf vernetzte Berechnungen zu beachten hat. Es wurde dargestellt, durch welche Komponenten die derzeit eher monolithisch verfassten Berechnungsprogramme zukünftig repräsentiert werden müssen, um in automatisierten Workflows miteinander zu interagieren. Anhand der Beispiele »Antriebsstrang« und »Getriebe« wurden überdies Ansätze erläutert, wie man beim Zusammenwirken einer großen Anzahl von Programmen die Komplexität der Strukturen und die Vielzahl der Variablen im Hinblick auf eine Konvergenz der Ergebnisse begrenzen kann.

Abbildung 11: Beispiel der vereinfachten Abfolge.

Komp.Nr.:	4	5	3	2	1
beeinflusst ...					
Komponente 4					
Komponente 5					
Komponente 3	X	X			
Komponente 2			X		
Komponente 1				X	

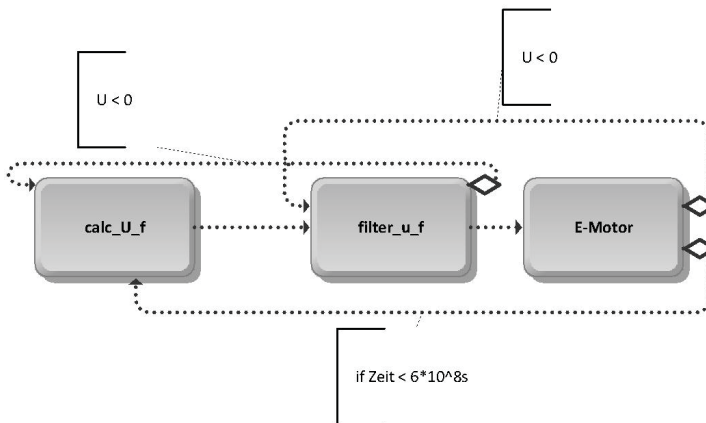


Abbildung 12: Zusammenfassung von Systemparametern

Das Ziel der Arbeiten ist allerdings nicht nur der Nachweis der prinzipiellen Machbarkeit, sondern die Bewährung der informationstheoretischen und mathematischen Methoden in der Praxis detaillierter Berechnungs- und Entscheidungsprozesse. Denn damit wäre ein konsequent umgesetztes Design Process Management im Maschinenbau nicht nur in der Lage, eine Komplexität beherrschbar zu machen, die gewachsene Interdisziplinarität und Globalisierung mit sich bringen, sondern mit der workfloworientierten Vernetzung von Berechnungsaufgaben einer Herausforderung zu begegnen, die den Konstrukteur unter dem wachsenden Druck der Variantenvielfalt vor immer größere Probleme stellt.

DPM-Prototyp

Datei Berechnen Extras

Moduldesigner **Berechnung**

**Eingaben:**

ID	Bezeichnung	Wert
<b>Welle (Welle_an)</b>		
1	da	55,00
2	di	20,00
3	l	50,00
4	rho	7875,00
5	tau_Lzul	205,00
6	mt	1000,00
7	nab	900,00
<b>Getriebe (Getriebe)</b>		
14	i1	8,90
15	i2	9,50
<b>Welle (Welle_1)</b>		
20	da	50,00
21	di	20,00
22	l	35,00
23	rho	7875,00
24	tau_Lzul	205,00
<b>Welle (Welle_2)</b>		
31	da	50,00
32	di	0,00
33	l	35,00
34	rho	7875,00
35	tau_Lzul	205,00

**Ausgaben:**

ID	Bezeichnung	Wert
<b>Welle (Welle_an)</b>		
8	l_welle	302292134,60
9	tau_t	36,07
10	m_t	1000,00
11	n_ab	900,00
<b>Getriebe (Getriebe)</b>		
16	mab1	8900,00
17	nab1	101,12
18	mab2	9500,00
19	nab2	94,74
<b>Welle (Welle_1)</b>		
27	l_welle	211739791,20
28	tau_t	291,49
29	m_t	8900,00
30	n_ab	101,12
<b>Welle (Welle_2)</b>		
38	l_welle	211739791,20
39	tau_t	311,15
40	m_t	9500,00
41	n_ab	94,74
<b>Getriebe (Getriebe)</b>		

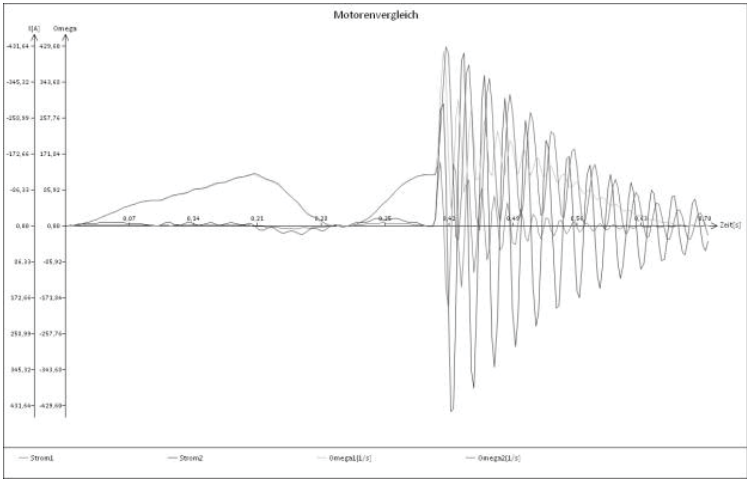


Abbildung 13: Beispiel der Darstellung von Eingabeparameter und Ergebnissen

## 6 Literaturverzeichnis

- McDonough, W. & Partners, 1999, The Hannover Principles Design for Sustainability, [www.mcdonough.com/principles.pdf](http://www.mcdonough.com/principles.pdf)
- Schmidt, W.-P.: 2007, Ford of Europe's Product Sustainability Index. Proceedings of OECD Workshop on Sustainable Manufacturing Production and Competitiveness
- Gründer, W.: 2010, Holistic Approach in Automotive and Mechanical Design requires Structured but Flexible Workflows, Proceedings of CONAT 2010, Brasov
- Richtlinie VDI 4500, 2006, Berlin – Wien – Zürich: Beuth-Verlag.
- Modelled with ARISexpress, 2010, Business Process Modeller, product of Software AG
- Pahl, G. et al.: 2007, Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung. 7. Aufl. Springer, Berlin
- Maurer, M.: 2010, Komplexitätsmanagement für die industrielle Praxis, Technische Universität München
- Gärtner, T.: 2008, Simulation der Dauer von Produktentwicklungsprozessen auf Basis von Design Struktur Matrizen, RWTH Aachen
- Dyla, A.: 2002, Modell einer durchgängig rechenbasierter Produktentwicklung, Technische Universität München
- Freund, J., Rücker, B., Henninger, T.: 2010, Praxishandbuch BPMN, München: Hanser
- Frei, N.: 2002, Der Konstruktionsprozess: Wirkmodelle basierend auf Constraints, Eidgenössischen technischen Hochschule Zürich
- MDESIGN drive, 2010, Software for dimensioning and recalculation of drive trains, [www.tedata.com](http://www.tedata.com)
- MDESIGN gearbox, 2012, Modular gearbox design integrates machine element calculation, [www.driveconcepts.com](http://www.driveconcepts.com)

## Kontakt

Dipl.-Ing. Denis Polyakov  
 TEDATA GmbH, NL Dresden  
 Wettiner Platz 10  
 01067 Dresden  
[www.tedata.com](http://www.tedata.com)

Prof. h. c. Dr.-Ing. Willi Gründer  
 TEDATA GmbH  
 Königsallee 45  
 44789 Bochum  
[www.tedata.com](http://www.tedata.com)

